

地震に伴う地盤災害の想定および評価に向けた新旧地形情報の利活用 —2005年福岡県西方沖の地震と2007年能登半島地震を例にして—

福塚康三郎*・金折裕司**

1. はじめに

各種社会資本の設計段階初期では一般に, さまざまな一次資料に基づいて概査的な地盤評価が実施される。地盤条件は事業コストに直結するため, 設計段階初期においても高精度の検討が求められる。しかしながら, 設計段階初期では現地調査の困難な場合が多く, その後の詳細な地質調査によって深刻な問題が指摘されることもある¹⁾。このため, 設計段階初期において, ①地形変遷とそれに伴う土地利用の変化, ②地盤災害の生じる可能性の有無, が検討されないまま, 施工段階へと進んでいる場合がある。

地震被害が地形条件や地盤条件と密接に関係することは, 1995年兵庫県南部地震(Mj7.3)以前から指摘されている²⁾。この地震では, 高橋³⁾は山陽新幹線の橋脚が旧河道で集中的に破壊されていることを指摘した。また, 2003年に発生した宮城県北部地震において, 村山⁴⁾は自然堤防上に立地する住宅地で, 旧河道の連続する凹地において建物被害が多いことを報告している。横浜市⁵⁾が作成した地震マップは, 50mメッシュの地形条件を踏まえたものであり, 丘陵地の大規模な造成地で過去に谷底平野部であった箇所は地震動が周囲の部分に比べて大きくなることが示されている。しかしながら, 50mとしたメッシュの制約から, 個別の箇所での具体的な土地条件に関しては, まだ十分な情報が示されていない。2004年新潟県中越地震(Mj6.8)の際には, 長岡市を中心に市街地で地盤災害(崖崩れ, 谷埋盛土のすべり, 谷埋盛土の液状化による沈下, 既往地すべりの再活動)が問題となった。これらは, 地震に伴う地盤災害として一般的な災害形態であるにもかかわらず, 過去の震災の

教訓は生かされなかった⁶⁾。

一般に, 山地斜面や丘陵地における大規模な地形改変(切土)は, 地震や豪雨に対して脆弱な地盤を人工的に生み出すことになるため, 集中豪雨が引き金となって地盤災害に見舞われる場合が多い⁷⁾。都市域における宅地災害に対する公的復興支援は山間地の集落に比べると不十分であり⁸⁾, 事前の被害想定や事後の適正評価が必要となる。戦後, 都市基盤の整備を伴わないまま人口や産業等の集中による都市化が急速に進行したため, 防災上危険な家屋が密集した市街地が多く形成された⁹⁾。とくに, 戦後の高度経済成長期に造成された宅地の地盤データは保存状況が悪く, 造成箇所自体の地図すら残っていないところも多い¹⁰⁾。さらに, 建物本体には性能表示が義務付けられているにもかかわらず, それを支える基礎や地盤について性能を規定する設計への取り組みが遅れている。

本稿では, 地震に伴う地盤災害の想定および評価に関する一次資料を作成することを目的に, 2005年福岡県西方沖の地震(Mj7.0)と2007年能登半島地震(Mj6.9)に伴う3か所の被災箇所を対象として, 新旧地形情報の利活用の有効性を検討する。そのうえで, 新旧地形情報の利活用が設計段階初期における地質災害リスクの検討や, 被災許容のための合意形成を進める際のファシリテーションツールとして有効であることを述べる。なお, 本稿では, 地形判読で見落としやすい平地部の比較的小規模な人工改変地(河川改修箇所や土取場跡など)を検討対象とした。

2. 地震の概要

福岡県西方沖の地震は2005年3月20日10時53分頃, 福岡県西方沖の日本海で発生した。地震の気象庁マグニチュード(Mj)は7.0で震源の深さは約9kmとされ, 人口約140万人の大都市である福岡市などで震度6弱を観測した(気象庁発表)。一方, 能登半島地震は2007年3月25日午前9時42分頃, 能登半島北西海岸沿いの日本海で発生した。Mj

* 八千代エンジニアリング(株) Yachiyo Engineering Co., Ltd.

E-mail: fukutsuka@yachiyo-eng.co.jp

** 山口大学大学院理工学研究科 Yamaguchi University Graduate School of Science and Engineering

6.9で震源の深さは約11kmとされ、石川県輪島市や七尾市などで震度6強を観測した(気象庁発表)。表-1にそれぞれの地震の人的および住家に関する被害状況を示す。図-1に本研究で対象とした地域の位置を示す。

3. 地盤災害と旧地形

3.1 河川改修と旧河道(石川県輪島市門前町: Loc.1)

能登半島地震の余震域に含まれる輪島市門前町走出地区

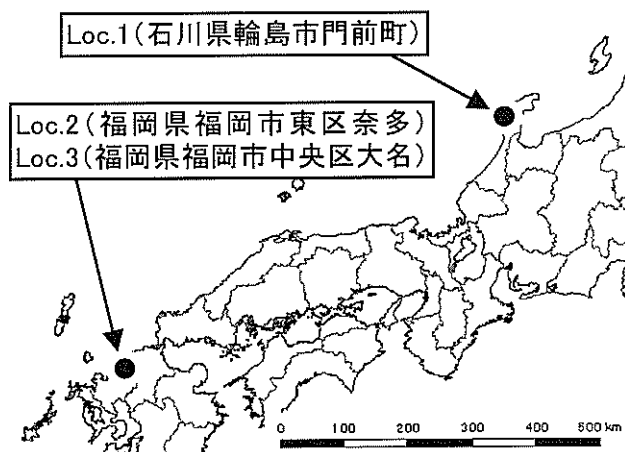


図-1 調査対象箇所位置図

表-1 地震の被害状況 集計結果は福岡県¹⁰⁾と石川県¹¹⁾に基づく

地震名称	人的被害(人)		住家被害(棟)			集計機関
	死者	負傷者	全壊	半壊	一部損壊	
福岡県西方沖の地震	1	1,073	138	315	8,832	福岡県
能登半島地震	1	338	646	1,642	26,560	石川県

では、旧河道と現河道の交差部付近で護岸の沈下や擁壁の転倒が確認された¹²⁾。この地区の西方約2kmの門前町走出地区および鹿磯地区周辺を流れる二級河川ハヶ川は、昭和30年代以降に順次河川改修が行われてきた。図-2に、河川改修前後の新旧の地形図と空中写真を示す。ハヶ川の最下流域周辺では国道バイパスが新たに建設され、旧河道と現河道は完全に遮断されている。さらに、旧河道と現河道に挟まれた旧氾濫原も造成され、旧河道周辺の土地利用は大きく変化している。

ハヶ川旧河道右岸の門前町鹿磯地区の木材加工工場では、旧河道沿いの擁壁が転倒し、アスファルト舗装路盤に亀裂が生じている(図-2a)(写真-1a)。亀裂が生じた路盤の基礎地盤は砂丘堆積物から構成される。1953年発行の地形図では被害箇所周辺には砂丘が明瞭に分布している。ここでは工場の一部が倒壊するなど、深刻な建物被害が生じている。旧河道と現河道が交差する箇所の低水路護岸には沈下が認められる(図-2b)(写真-1b)。

3.2 土取場跡(福岡県福岡市東区奈多: Loc.2)

福岡県西方沖の地震の余震域に含まれる海の中道海浜公園の一部において液状化が確認された¹³⁾。この公園内の「光と風の広場」において、写真-2に示すような液状化に伴う亀裂群が発生した¹⁴⁾。広場の中央部にはカモ池と呼ばれる人工池があり、池の周囲には円弧状の開口亀裂や段差が多数出現し、池から離れた場所でも噴砂や



図-2 輪島市門前町西部の新旧の地形図と空中写真

A: 1953年発行5万分の1地形図幅「鋸地」、B: 2002年発行数値地図25000「門前」、C: 1975年撮影空中写真(CCB-75-18,C19A-3)、D: 2007年撮影空中写真(CCB-2006-2,C9-7412)。図中のa,bは写真-1(a,b)の撮影位置に対応する。

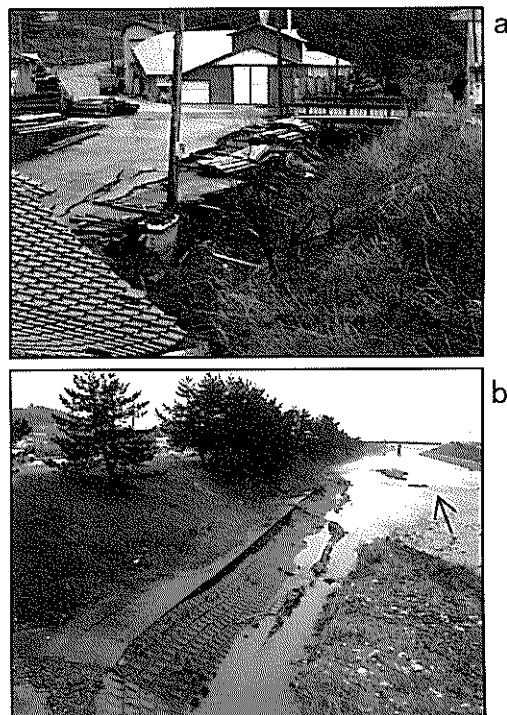


写真-1 ハヶ川周辺の被災状況

a: 旧河道沿いの擁壁の転倒(鹿磯地区)
b: 低水路護岸の沈下(道下地区)

亀裂が確認された¹⁴⁾。地盤工学会福岡県西方沖地震調査団¹⁵⁾により簡易測定された流動量は約6mで、流動範囲は池の縁から斜面上方に向かって70m程度と見積もられ、被災範囲は長さ約250m程度、亀裂の最大深度は約1.4mである。これらのことから、人工地盤の液状化によって側方流動が発生したと推定される。

図-3にカモ池周辺の新旧の空中写真を年代順に示す。1956年撮影の空中写真では、被害箇所一帯には砂丘が確認される。しかしながら、1961年では砂の採取に伴う凹地に水が溜まり、「池」が形成されている(写真-3)。1981年には、「池」の東側に新しい砂の採取地が確認され、さらに1987年にはその「池」が東側へ拡大している。下山ほか¹⁴⁾は、駐車場を横切る北西-南東方向の直線的な亀裂群は池岸線に平行な割れ目系であり、人工地盤(埋土)と自然地盤(砂丘砂)の境界部に沿って発生していることを指摘した。1987年に撮影された空中写真では、この境界に沿った池岸線は堤体となっている。したがって、液状化による被害は主に新しい砂の採取地に集中していることがわかる。砂丘を掘削して造られた「池」の拡大エリア(凹地)は、公園施工時には埋土されている。なお、被害箇所の標高は1~2

m程度であるため、地下水位も高く、埋土の大部分が飽和していると考えられる¹⁵⁾。

海の中道の大部分は、1945~1972年まで米軍施設として使用されていた。その後、1970年に旧建設省により国営公園のための整備工事が着工し、1981年以降、工事完了箇所から順次開園となった。液状化被害の集中する「光と風の広場」は2002年に開園したが、公園施設であることもあって、液状化対策工が施工されていなかった¹⁶⁾。

3.3 城郭周辺の堀跡(福岡県福岡市中央区大名: Loc.3)

図-4に福岡市中央区周辺の表層地盤の層厚分布¹⁷⁾と福岡県西方沖の地震による建築物の被災状況¹⁸⁾および一次元地盤モデルで再現した福岡市中央部の最大速度コンター図(単位: cm/s)¹⁷⁾を示す。建築物の被災区分のうち、D1~2は一部損壊、D3は半壊である¹⁹⁾。この地震では、福岡市中央区の天神凹地²⁰⁾と呼ばれる局所的な軟弱地盤分布地域において、とくに地震動が増幅したことが指摘されている¹⁷⁾。福岡市の中心部には活断層である警固断層がNNW-SSE方向に伸び、地震発生時には断層の東側の天神凹地でD3以上の建物被災が見られた¹⁸⁾。また、K-NET福岡の記



写真-2 カモ池周辺に発生した液状化に伴う亀裂群

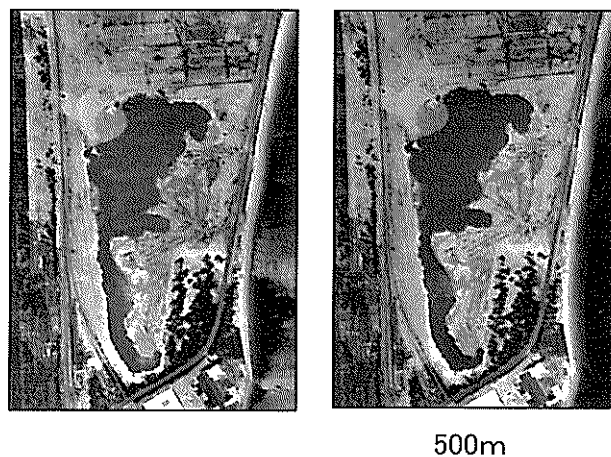


写真-3 砂の採取に伴う凹地(1961年)
1961年撮影空中写真(MKU-61-1, C4A-9/10)のステレオペア

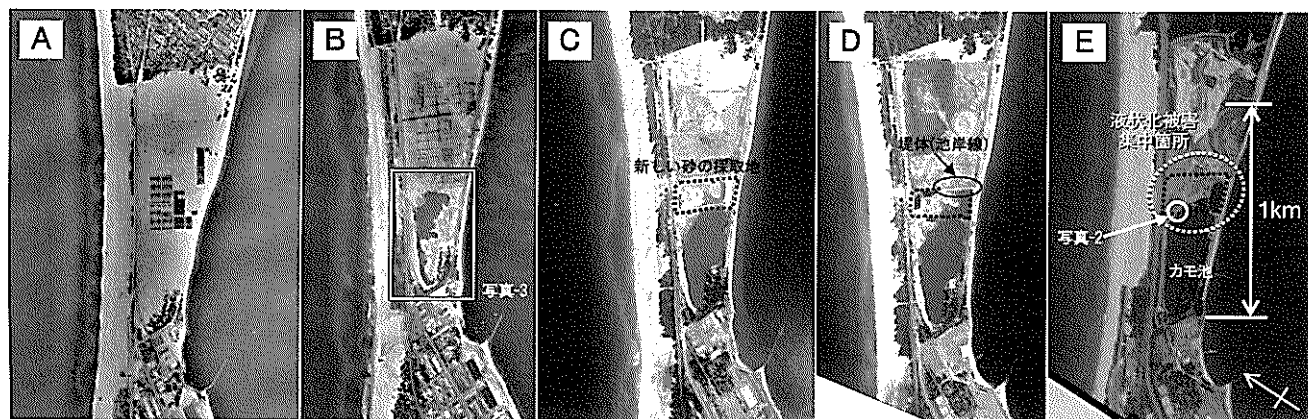


図-3 海の中道海浜公園東部の新旧の空中写真

A: 1948年撮影空中写真(65, vv8PRS, R, 236, 314CW), B: 1961年撮影空中写真(MKU-61-1, C4A-9), C: 1981年撮影空中写真(CKU-81-1, C7B-8), D: 1987年撮影空中写真(CKU-87-1, C24-8), E: 2005年撮影空中写真(CKU-2004-1, C12-3292)

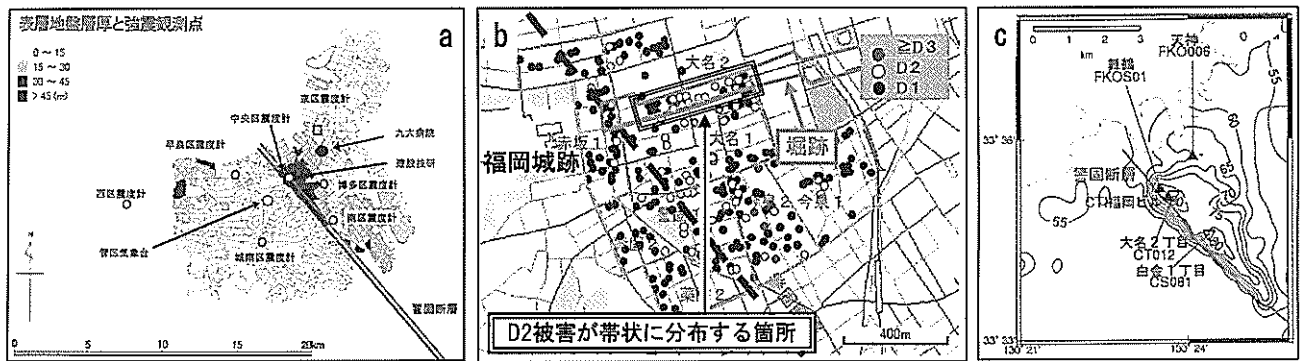


図-4 福岡市中央区周辺の表層地盤の層厚分布¹⁷⁾と建築物の被災状況¹⁸⁾および最大速度コンター¹⁷⁾

a: 福岡市中央区周辺の表層地盤の層厚分布¹⁷⁾, b: 建築物の被災状況¹⁸⁾に堀跡の位置とD2被害が带状に分布する箇所を加筆(堀跡の位置は図-5に基づく), c: 一次元地盤モデルで再現した福岡市中央区部の最大速度コンター図¹⁷⁾(単位: cm/s)

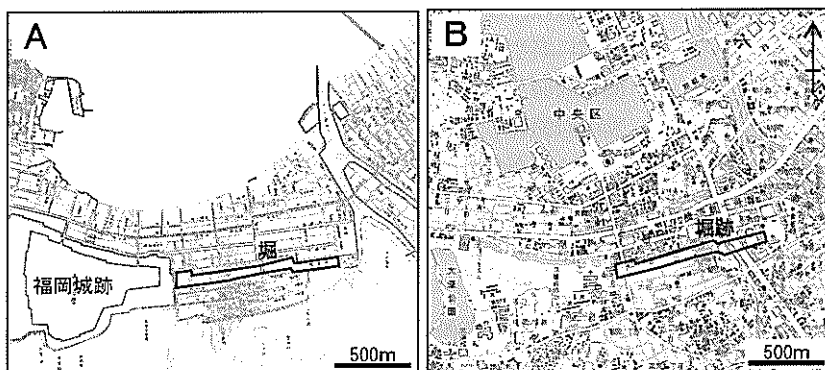


図-5 福岡市中央区大名地区周辺の古地図²³⁾と現在の地形図および堀跡の位置

A: 1907年福岡市発行「福岡市全図」²²⁾, B: 2002年発行数値地図25000「福岡」

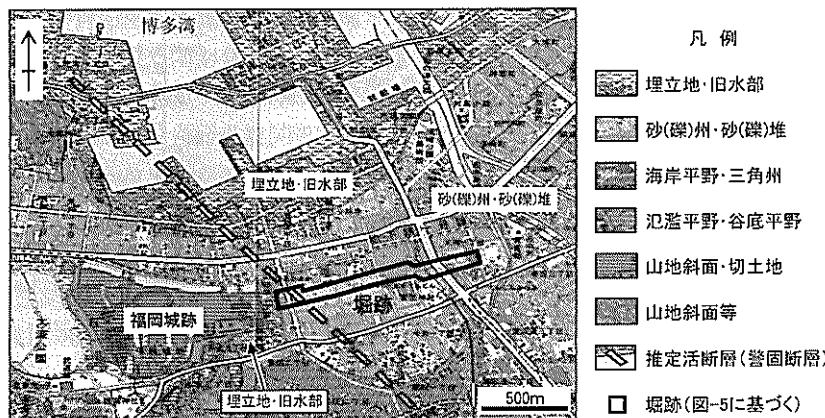


図-6 福岡市中央区大名周辺の土地条件図²¹⁾と堀跡の位置 (原図はカラー)

録を基準とする工学的基盤面の最大S波速度は80cm/sである。最大速度の分布域は警固断層の東側の狭い領域に生じており、天神凹地とおおむね一致することが示されている¹⁷⁾。

図-5に福岡市中央区大名地区周辺の古地図(1907年)と現在の地形図(2002年)を示す。これら新旧の地形情報を比較した結果、1907年には福岡城の周囲および東側に御堀(佐賀堀・中堀)がみられるが、2002年の地形図から御堀の跡(堀跡)を判読することは困難であることがわかる。被災の程度(D1～3)(図-4b参照)と地形情報を比較検討した結果、埋立てられた堀の位置と帯状のD2被災ゾーンはおお

むね一致する。

地盤工学会福岡県西方沖地震調査団¹⁵⁾は、被災家屋の分布に限らず、コンクリート構造物の被害分布についても天神凹地付近に集中していると報告している。被害が集中した理由として、同調査団は、基盤岩に入射した地震波が天神凹地の地質構造により増幅され、地表面に到達したことを挙げている。しかしながら、被害が集中した地域であっても被害がみられない建物も多く存在する。これは、建築物の基礎形式や施工方法および耐震設計の有無などの設計内容や地盤の不均一性に起因すると考えられる。

図-6は、地震発生から約1年後に公開された土地条件図「福岡(縮尺1:25,000)」²¹⁾の一部であり、図中に古地図をもとに推定した堀跡の範囲を示した。堀跡は「砂(礫)州・砂(礫)堆」として一括表示されており、人工改変地形が適切に表示されていない。一方、福岡城跡南側の堀跡については「埋立地・旧水部」で表記されている。これらのことから、

土地条件図の作成段階において、旧地形に関する情報不足の点が指摘される。

4. 新旧地形情報の利活用

4.1 設計段階初期における地盤災害リスクの検討

以上に述べたように、福岡県西方沖の地震や能登半島地震に伴う地盤災害と地形改変箇所には関連性がある。したがって、地震に伴う地盤災害を軽減するためには、地形変遷とそれに伴う土地利用の変化を明らかにしておく必要がある。国土地理院²¹⁾は、土地条件図に関する解説資料の中で、人工改変地(埋立地・干拓地・低地の盛土部・造成地

の谷埋部)の災害に対しては、まだ十分な防災対策が確立されているとは言えず、今後の災害対策における重要な課題であると指摘している。

土砂採取や廃棄物処理のために地面を掘削し、終了後は宅地・公園等の造成地として供用されるケースは少なくない。本稿で指摘した海の中道海浜公園の変状は、本来、災害時の避難場所である公園が被災した例である。

福塚ほか¹²⁾は、能登半島地震における石川県七尾市七尾港周辺の海岸埋立地においては、隣接する埋立区域であっても、旧地形や埋立履歴、地盤材料の種類および耐震施工の有無等が被害の程度に深く関与していることを報告している。同様に、福岡県西方沖の地震においても、博多湾岸の埋立地における被害の程度と旧地形、埋立履歴および地盤材料の種類等に関連性がみられることを明らかにしている¹⁵⁾。

これらのことから、設計段階初期においては、地形変遷とそれに伴う土地利用の変化を考慮した地盤災害リスクの検討が重要であることを指摘する。兵庫県南部地震の発生から10年以上経過しているが、全国的にハザードマップ(災害予測図)やディザスターマップ(災害実績図)およびアボイドマップ(災害回避図)などの地盤災害リスク評価を行ううえでの基礎的な地盤情報の整備が遅れている。なお、最近では土壌汚染対策をはじめとする各種環境修復分野において、旧地形や土地利用履歴に関する調査が行われているが、これらの調査成果の多くは近隣不動産の評価に直結するため、成果の一般公開ないしデータベース化等が実施されることは極めて少ない。このため、設計段階初期において、人工改変地の可能性が高い箇所における地盤災害の発生の有無に関する検討は依然として遅れている。したがって、地震に伴う地盤災害箇所の地形変遷に関する情報は、今後の地震被害の想定やその評価に積極的に活用すべきである。また、災害復旧や都市および道路等の計画に際しては、旧地形と地盤の性質を関連付けて早期から検討する必要がある。

4.2 被災許容のための合意形成

内閣府⁸⁾は、全国で相次ぐ地震の発生や2006年3月の地震防災対策特別措置法の改正に伴って、新たに都道府県防災会議がそれぞれの地域防災計画における被害想定とその被害軽減対策の実施に関する目標の設定を推進するとともに、地方公共団体は地震・津波に関するハザードマップの作成および地域住民への周知を推進することを指示した。さらに、各地域の戦略的な地震防災対策をより一層推進する必要があると提言した⁹⁾。地盤災害の想定および評価を進める際の一次資料としては、まず対象地域の新旧の地形情報を整理することが重要である。例えば、災害時の避難場所を決定する際には、その立地状況が適切であるか否かを明らかにし、避難後の二次災害を未然に防ぐことが重要

である。

近年、より安全な生活様式への期待が国民の中で高まりつつあり、さらには事業に対する説明責任、コストの縮減、環境負荷の低減などへと要求の変化が認められる。このため、公共事業では住民側に立った事業の採択や実施に主眼が置かれるようになった。とくに、最近では、計画段階において、より客観的なデータをもとに事業者側と住民が議論を進める必要が生じている。このようなケースにおける新旧地形情報の利活用は、地域住民とのコミュニケーションを円滑に進めるうえでも有効である。とくに、現地詳細調査を実施できない構想段階においては、地形変遷と土地利用の変化に着目した情報整理が非常に重要である。

今後は、地域防災計画や社会資本の整備・維持管理を効率的に進めるうえで、地盤災害の発生場に関する情報を事前に公開していかなければならない。沖村²³⁾は、新しい防災の目標として、①被災予測、②被災軽減、③被災許容、のための合意形成が重要であると指摘している。被災許容を定量化することは現在の技術水準では容易ではないが、対象とする地域の住民は災害リスクを共有する必要がある。

被災許容のための合意形成を進める際には、ファシリテーションツールが必要となり、整理・加工された新旧の地形情報もこのツールとして機能することが期待される。地質技術者はPI等の市民参画の場において、地盤災害リスクに関するファシリテーターの役割を果たすことが期待され、地域住民から得られた意見をもとに、対象地域におけるさまざまな災害関連情報を整理しなければならない。なぜならば、市民参画の場において地域住民から得られる主な意見の中には、過去の災害履歴に関する伝承や土地の変状および水質の変化などの各種地質リスクに関連する情報が含まれるためである。

5. ま と め

本稿では、地震に伴う地盤災害の想定および評価に関する一次資料を作成することを前提に、とくに地形が人工改変された地域を事例研究の対象として、2005年福岡県西方沖の地震と2007年能登半島地震で被災した3か所について新旧地形情報の利活用の有効性を検討した。その結果、次の5点が指摘された。

- ①内陸地震の地盤災害の発生箇所と地形改変箇所(河川改修箇所・土取場や堀の埋土箇所)には関連性が認められた。
- ②河川改修箇所では旧河道と現河道の交差部付近で低水路護岸の沈下がみられた。また、旧河道沿いでは擁壁の転倒が発生している(能登半島地震)。
- ③土取場跡の埋立箇所には液状化が確認され、掘削跡地の池に向かって側方流動が発生したと推定される(福岡県西方沖の地震)。
- ④さらに、福岡城郭周辺で埋め戻された堀跡に沿って、建

建築物のD2(一部損壊)被害が帯状に分布している(福岡県西方沖の地震)。

⑤新旧地形情報の利活用は、設計段階初期における地盤災害リスクの検討や被災許容のための合意形成を進める際のファシリテーションツールとしても有効である。

6. お わ り に

近年、自然災害への対処を検討するツールとして地理情報システム(GIS)が盛んに活用されてきており、これは土地利用や開発への住民の認識の相違を整理する際に有効である。本稿における新旧地形情報の利活用手法は、GISを用いた災害危険度の想定ないし評価におけるクロスチェックの際に有効であると考えられる。また、都市化や過疎化などによる地域構造の変化が著しい地域においては、動態的な観察が必要であり、土地利用の形態を中心にして地域構造の変化を把握しなければならない。今後、持続型の社会資本整備を進めるためには、旧地形と地盤の性質を関連付けて検討することが重要であり、本提言が設計段階初期等における概略的な地盤評価の一助となれば幸いである。

謝辞 本稿をとりまとめるにあたり、福岡教育大学の黒木貴一准教授と九州大学大学院の下山正一博士、山口大学大学院の山本哲朗教授、田中和広教授、宮田雄一郎教授および今岡照喜教授には大変お世話になった。設計段階初期における新旧地形情報の利活用に関する議論は佐賀大学の岩尾雄四郎教授や国土交通省九州地方整備局の大成和明氏、八千代エンジニアリング(株)の宮崎精介氏およびサンコーコンサルタント(株)の森正明氏によるところが大きい。また、2名の匿名査読者の貴重な意見により、本稿は大幅に改善された。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 福塚康三郎・森正明・岩尾雄四郎・黒木貴一・大成和明(2006): 佐賀平野北西部における軟弱地盤の分布とクリークの関係, 応用地質, Vol.46, No.6, pp.340-345.
- 2) 長須博明・熊木洋太(1982): 地震地盤災害と地形分類, 国土地理院時報, No.56, pp.24-31.
- 3) 高橋学(1998): 1995年兵庫県南部地震被害の地形環境分析, 地質学論集, No.51, pp.127-134.
- 4) 村山良之(2004): 2003年宮城県北部の地震—災害の経験から明らかにしたこと, 地理, Vol.49, No.9, pp.32-37.
- 5) 横浜市(2001): 地震マップ(50mメッシュ), http://www.city.yokohama.jp/me/bousai/jisinn_map.html(2007年7月1日).
- 6) 釜井俊孝(2005): 2004年新潟県中越地震による都市域の斜面災害, 応用地質, Vol.46, No.3, pp.138-144.
- 7) 米倉伸之・貝塚爽平・野上道男・鎮西清高(2001): 日本の地形I(総説), 東京大学出版会, pp.283-296.
- 8) 内閣府編(2007): 平成19年版防災白書, <http://www.bousai.go.jp/hakusho/hakusho.html>. (2007年7月1日).
- 9) 地盤工学会関東支部「首都圏直下地震に対する地盤工学からの提言」策定委員会(2005): 首都圏を直下地震から守るために, 資料.
- 10) 福岡県(2005): 福岡県西方沖地震 震災対応調査点検委員会報告書, p.64.
- 11) 石川県(2007): 平成19年(2007年)能登半島地震に関する被害の状況(7月27日現在), <http://www.bousai.pref.ishikawa.jp/top.asp>(2007年7月30日).
- 12) 福塚康三郎・金折裕司・黒木貴一(2007): 2007年能登半島地震による地盤災害と旧地形, 2007年日本地球惑星科学連合大会. 講演要旨CD-R.
- 13) 下山正一・福塚康三郎(2005): 福岡県西方沖地震による地盤被害, 日本地質学会News, Vol.8, No.4, pp.12-13.
- 14) 下山正一・渡辺公一郎・山中寿朗・市原季彦・石橋秀巳・塚野香織(2005): 福岡県西方沖地震に伴う人工砂地盤の被害と余震による被害の拡大について—海の中道海浜公園光と風の広場における地盤被害を例にして—, 西部地区自然災害資料ニュース, No.33, pp.51-55.
- 15) 地盤工学会福岡県西方沖地震調査団(2005): 福岡県西方沖地震の被害調査報告, 土と基礎, Vol.53, No.11, pp.12-35.
- 16) 福塚康三郎・金折裕司(2005): 福岡県西方沖地震による地盤災害と旧地形, 日本応用地質学会平成17年度研究発表会, 講演要旨集, pp.383-384.
- 17) 川瀬博(2007): 福岡県西方沖地震の建物被害分布と地盤増幅特性, 地球, Vol.29, No.2, pp.116-122.
- 18) 日本建築学会福岡西方沖地震災害調査委員会(2005): 2005年福岡県西方沖地震調査報告書, 日本建築学会, 266p.
- 19) 岡田成幸・高井伸雄(1999): 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, No.524, pp.65-72.
- 20) 下山正一(1998): 福岡平野の古環境と遺跡立地 環境としての共存のために, 九州大学出版会, 289p.
- 21) 国土地理院(2006): 2万5千分の1土地条件図幅「福岡」.
- 22) 福岡市(1907): 福岡市全図.
- 23) 沖村孝(2004): 土砂災害の減災で地盤工学が目指すべきもの, 土と基礎, Vol.52, No.1, pp.29-31.

(2007年7月31日受付, 2007年11月9日受理)